

# Der Marionettenspieler im Hintergrund

Die Basalganglien steuern unsere Bewegungen. Der motorische Cortex aber auch. Doch welche Hirnregion hält die Fäden wirklich in der Hand? Anatomen kennen die Antwort.

VON HELMUT WICHT

**F**rüher war alles viel einfacher. So nahmen Anatomen mangels ausgeklügelterer Methoden ein scharfes Messer und schnitten das Großhirn quer durch, wenn sie mehr über dessen Innenleben erfahren wollten – fertig. Betrachteten sie nun die Schnittfläche näher, sahen sie Folgendes: Fast die gesamte Oberfläche des Großhirns ist von einer dünnen, gräulichen Rinde bedeckt, dem Cortex, der aus den dicht gepackten Zellkörpern von Milliarden Neuronen besteht (siehe Grafik rechts). Die berühmten »grauen Zellen« also. Direkt unter dem Cortex erscheint das Gewebe strahlend weiß: Hier verlaufen die Nervenfasern –

all jene Ausläufer der Neurone, die vom, zum und innerhalb des Cortex Myriaden von Verbindungen herstellen.

Noch weiter unten wird es dann wieder grauer. Denn dort, um die inneren Hohlräume des Gehirns herum, befinden sich weitere große Ansammlungen von Nervenzellkörpern. Diese bezeichneten die Hirnforschungspioniere als Basalganglien, von dem griechischen Wort »ganglion« für Klumpen, Knoten oder Geschwulst. Graues Nervengewebe eben, das ziemlich weit unten, nahe der Hirnbasis liegt.

Damit ist im Grunde alles über die Basalganglien gesagt, was man vor 150 Jahren über sie wusste. Dummerweise stellte sich dann aber heraus, dass einige

dieser Zellklumpen im Innern des Großhirns (im Bild gelb) völlig andere Aufgaben übernehmen als die übrigen – die »eigentlichen« – Basalganglien (orange). So wird heute etwa der Thalamus dem Zwischenhirn (siehe Gehirn&Geist 7-8/2006, S. 34) und die Amygdala dem limbischen System (siehe Gehirn&Geist 9/2006, S. 64) zugeschlagen.

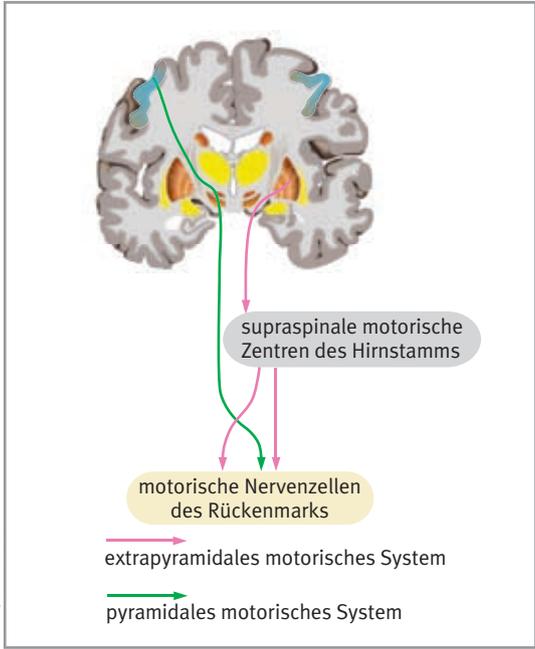
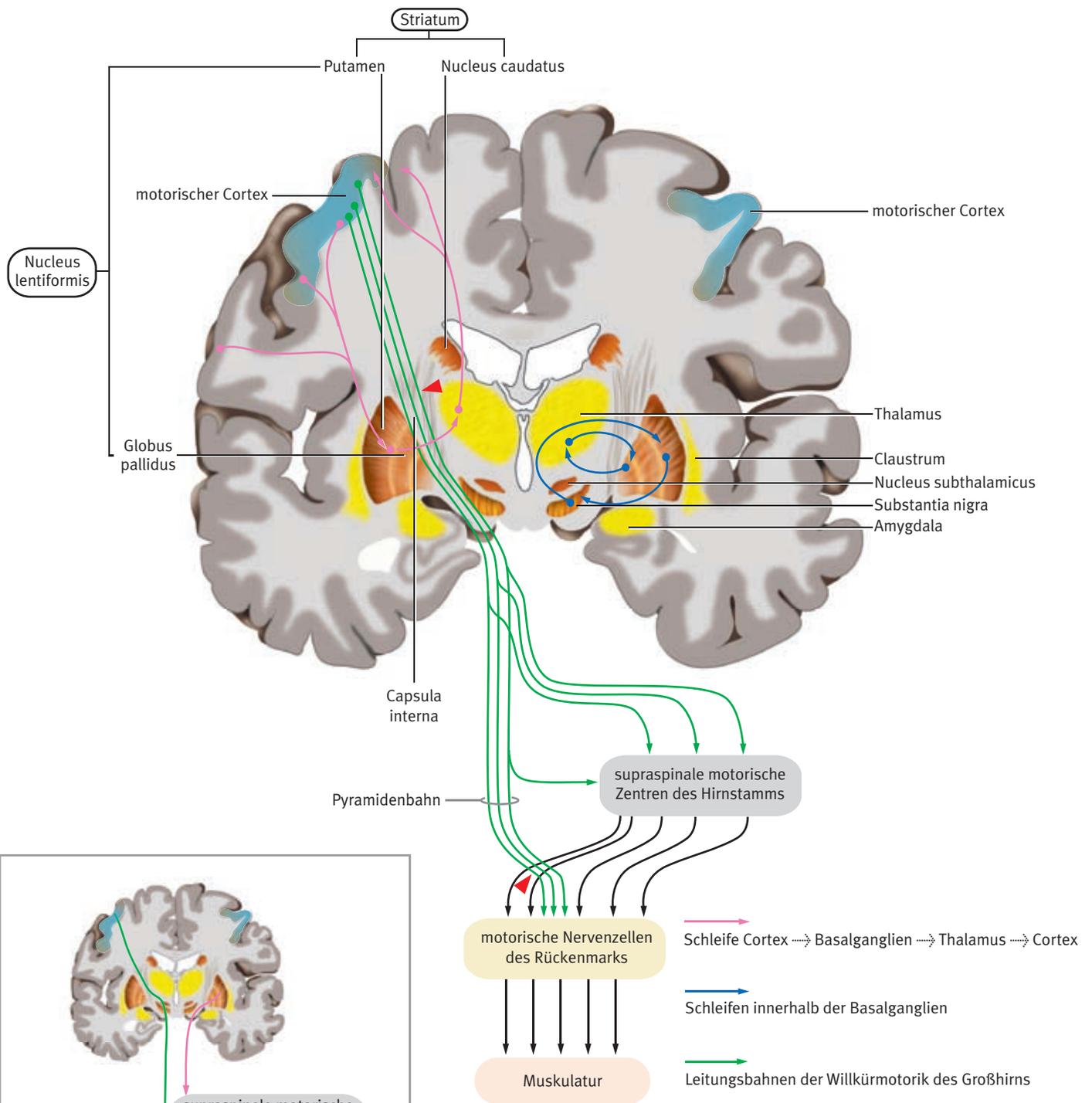
Was bleibt übrig? Da ist erst einmal das Striatum, der Streifenkörper: zwei Bröckchen grauer Substanz, die während der Embryonalentwicklung von einem Faserbündel auseinander gerissen wird. Dieses Faserbündel ist die Capsula interna. Auf ihrer Innenseite liegt der Nucleus caudatus (Schweifkern) und außen das Putamen (Schalenkern).

Neben dem Schalenkern findet sich ein dreieckiges, hellgraues Gebilde, das in der Mitte von einer dünnen Lage weißer Substanz unterbrochen wird. Das ist der Globus pallidus – von lateinisch »pallidus« für bleich. Um den Anatomieschülern das Leben nicht zu einfach zu machen, werden der Globus pallidus und das Putamen manchmal auch als Linsenkern, Nucleus lentiformis, zusam-

## SERIE NEUROANATOMIE FÜR EINSTEIGER: TEIL VI

Wie halten Sie es mit der Neuroanatomie?  
Eine Einführung in Aufbau und Funktionen des Nervensystems

- ▶ Die Nerven (4/06) ▶ Das Rückenmark (5/06) ▶ Der Hirnstamm (6/06) ▶ Thalamus und Zwischenhirn (7-8/06) ▶ Das limbische System (9/06) ▶ Die Basalganglien (10/06)
- ▶ Das Kleinhirn (11/06) ▶ Die Großhirnlappen (12/06)



**HINTER DEN KULISSEN DES PUPPENTHEATERS**

Querschnitt des Gehirns mit den Basalganglien (orange) sowie jenen Hirnregionen, die früher ebenfalls dazugerechnet wurden (gelb). Das kleine Bild links zeigt die veraltete Vorstellung der »zwei Marionettenspieler« mit strikt getrenntem »pyramidalem« (grün) und »extrapyramidalem motorischem System« (pink). Heute steht fest, dass die Basalganglien dem motorischen Cortex untergeordnet sind – es gibt also nur einen Marionettenspieler.

▷ *mengefasst*. Was tatsächlich anatomisch zusammengehört, ist eben auch Ansichtssache.

Kurz Luft holen, und weiter gehts: Daneben hätten wir noch den Nucleus subthalamicus und unter diesem die Substantia nigra, den schwarzen Kern. All das zusammen – Nucleus caudatus, Putamen, Globus pallidus, Nucleus subthalamicus, Substantia nigra – sind nach heutiger Definition die Basalganglien. Ach ja, nicht zu vergessen das Claustrum, eine schmale Schicht grauer Substanz seitlich des Schalenkerns. Das dürfen Sie nach Lust und Laune dazurechnen – oder auch nicht. Keiner weiß so recht, was es macht; manche Forscher halten es gar für ein verirrtes Stück Cortex.

Und wozu dienen nun all diese grauen Klumpen in der Tiefe unseres Gehirns? Offenbar haben sie einiges mit der Steuerung unserer Bewegungen zu tun. Das erkennt man an Patienten, bei denen die Basalganglien auf Grund einer Hirnverletzung oder Erkrankung geschädigt sind. Praktisch alle Muskeln werden dann starr oder schlaff, wobei sie gelegentlich auch ungewollte Bewegungen ausführen oder zittern. Ein Neurologe bezeichnet so etwas als »globale motorische Störung« – und die kommt leider gar nicht so selten vor. Zum einen kann

Diese Beobachtungen brachten die Anatomen auf die Idee, dass unser Körper sozusagen von zwei Marionettenspiellern bewegt wird. Der eine wäre demnach der motorische Cortex. Sein Spielkreuz mitsamt Fäden nannten sie das »pyramidale motorische System«, weil die zum Rückenmark führenden Nervenfasern im Hirnstamm eine spitz zulaufende, dreieckige Struktur bilden. Fantasiebegabte Anatomen – und Anatomen haben viel Fantasie! – erkannten darin eine Pyramide (siehe Gehirn&Geist 6/2006, S. 58). Dort wechseln die Nervenfasern der Neurone des motorischen Cortex auf die gegenüberliegende Seite, weshalb bei einem Schlaganfall in der einen Hirnhälfte in der jeweils anderen Körperseite Lähmungen auftreten.

Den anderen Marionettenspieler stellen in dieser Vorstellung die Basalganglien dar. Seine Fäden führten allerdings nicht direkt zur Puppe – sprich zum Rückenmark – hinab, sondern zu anderen, untergeordneten Spielkreuzen: den »supraspinalen motorischen Zentren des Hirnstamms«. Dieser zugegebenermaßen etwas sperrige Begriff beschreibt ein Sammelsurium von Neuronengruppen, die eigentlich nur eines gemeinsam haben: Sie schicken Nervenfasern zum Rückenmark. In einem seltenen Anflug von

neuen Griff auf der Gitarre ausprobieren. Jede Bewegung, die Stellung des Körpers, die Haltung des Arms, die Beugung jedes Fingers wird bei dieser »pyramidalen Motorik« bewusst und oft ziemlich mühsam kontrolliert.

Die »extrapyramidale Motorik« war dagegen zuständig für Bewegungsabfolgen, die Sie schon beherrschen – wenn Sie etwa routiniert die Finger auf das Griffbrett Ihres Instruments setzen, ohne sich weiter um die Details scheren zu müssen. Die Basalganglien sollten demnach all die zwar willkürlichen, aber uns dennoch meist nicht bewussten Bewegungsmuster steuern, die den ganzen Körper oder doch zumindest große Muskelgruppen betreffen – beim Laufen genauso wie beim Radfahren und Sprechen. Eine saubere Arbeitsteilung, nicht wahr?

### REISSEN WIR DAS SCHIEFE LEHRGEBÄUDE EIN!

Doch wie gesagt – früher war alles viel einfacher. Heute sieht die Sache etwas komplizierter aus, denn wie sich herausstellte, sind die beiden Systeme eigentlich gar nicht voneinander zu trennen. Daher sollte man auch nicht mehr von pyramidalen versus extrapyramidalen Motorik reden, sondern beides lieber unter dem Begriff Willkürmotorik zusammenfassen. Aber die Begriffe haben sich nun mal eingebürgert, deshalb habe ich sie hier auch so ausführlich erläutert. Nun müssen wir das schiefe Lehrgebäude jedoch unter großem didaktischem Getöse wieder einreißen. An die Arbeit!

Um es noch einmal ganz klar festzuhalten: Der Mythos von der strikten Aufteilung der Funktionen mag noch in manchem älteren Lehrbuch zu finden sein, doch er ist schlicht falsch! Nach heutigem Wissensstand (siehe Grafik S. 69) sind die Basalganglien untereinander eng verbunden – zum Beispiel ist für die Parkinsonkrankheit eine Störung jener Nervenfasern verantwortlich, die zwischen Striatum und Substantia nigra verlaufen.

Es gibt aber kaum Verbindungen zu den supraspinalen motorischen Zentren des Hirnstamms. Der Hauptaussgang der Basalganglien führt stattdessen – via

## Als ob sich der motorische Cortex eine kleine Maschine zur Arbeitserleichterung zugelegt hätte – die Basalganglien

ein Schlaganfall, also ein Blutgefäßverschluss oder -riss, speziell die Basalganglien treffen. Zum anderen sterben bei manchen degenerativen Erkrankungen, zum Beispiel bei der Parkinsonkrankheit, die Nervenzellen gerade in dieser Hirnregion aus bislang unbekanntem Gründen ab.

Nun gibt es aber auch »fokale« motorische Störungen, die sich auf einzelne Muskelgruppen beschränken. Hier sind – etwa wiederum nach einem Schlaganfall – die für Bewegungen zuständigen Areale der Großhirnrinde betroffen: der motorische Cortex.

Einfallslosigkeit nannten die Anatomen diese zweite Befehlskette das »extrapyramidale motorische System«. Extra nicht im Sinn von zusätzlich, sondern von außerhalb – weil seine zum Rückenmark absteigenden Bahnen nicht in den Pyramiden, sondern entweder an anderen Stellen oder überhaupt nicht auf die Gegenseite wechseln.

Die Zuständigkeiten zwischen den beiden Spielern waren nach diesem Modell klar getrennt. Das pyramidale System sollte demnach absichtliche, noch nicht eintrainierte Bewegungen steuern – etwa, wenn Sie zum ersten Mal einen

Globus pallidus – zum Thalamus im Zwischenhirn, und der schickt seine Fasern zum Cortex. Letzterer funkt übrigens auch wieder zu den Basalganglien zurück, das soll uns hier jedoch nicht weiter verwirren.

Entscheidend ist: Die Basalganglien erreichen die motorischen Zentren des Hirnstamms und des Rückenmarks nur auf dem Umweg über den motorischen Cortex. Es gibt also in Wirklichkeit nur ein einziges Marionettenkreuz – und dessen Fäden gehen von der Großhirnrinde aus.

Innerhalb dieses Systems übernehmen die einzelnen Zentren durchaus verschiedene Spezialaufgaben. Die Basalganglien etwa sind in der Tat für die »globale« Regulation zuständig, der Motorcortex für die »fokale«. Man könnte auch so sagen: Die Basalganglien wissen, wie ein Bewegungsablauf auszusehen hat, in welcher Reihenfolge und mit welcher Kraft dabei die Muskeln angespannt werden müssen. Doch der motorische Cortex allein weiß, welche einzelnen Muskeln für den jeweiligen Bewegungsablauf zuständig sind.

## FAUL, ABER FINDIG

Die Sache verhält sich ein wenig so, als ob ein ziemlich fauler Puppenspieler – der motorische Cortex – eine kleine Maschine zur Arbeitserleichterung erfunden hätte: die Basalganglien eben. Er hält zwar selbst das Spielkreuz mit den Fäden in der Hand, aber die Maschine steuert auf Knopfdruck die Fäden so, dass sich die Marionette sinnvoll bewegt. Nur wenn es etwas noch nie Dagewesenes oder besonders Kunstvolles auszuführen gibt, schaltet er die Maschine ab und übernimmt den heiklen Job höchstpersönlich.

Die Grundbewegungen der Marionette hat der faule Spieler dabei leider verlernt. Folge: Geht die Basalganglienmaschine kaputt, klappt es mit der Koordination nicht mehr – und die typischen Symptome einer globalen motorischen Störung treten auf. Etwa Zittern und Wackeln der Extremitäten bei der Parkinsonkrankheit. Oder plötzliche, schleudernde Bewegungen der Arme und Beine beim »ballistischen Syndrom«. Oder die

seltsamen Verdrehungen beim Veitstanz (Chorea Huntington).

Trotzdem kann der Cortex auch dann noch so einige, feinmotorische Aufgaben steuern. Das zeigt sich beispielsweise, wenn ein Parkinsonpatient einen Faden einfädeln oder ein Fingerspiel machen soll. Auf einen Schlag verschwindet dann oft das Armschütteln, das sonst bei anderen, größeren Bewegungen so sehr stört.

Die vom Cortex zum Rückenmark führenden Fasern verlaufen in der Capsula interna, also mitten durch die Basalganglien hindurch. Werden sie dort verletzt (obere rote Pfeilspitze ► in der Grafik), hängen die Glieder schlaff herab; nichts geht mehr. Dann sind die Fäden der Marionette gekappt.

Weiter unten gehen die Fasern der Capsula interna in den Tractus corticospinalis, die Pyramidenbahn, über. Der gilt zwar als das entscheidende Seil, an dem die Willkürmotorik hängt – doch unterschätze man nicht die Rolle der untergeordneten Spielkreuze, der supraspinalen motorischen Zentren! Wird nämlich nur der Tractus corticospinalis lädiert (untere rote Pfeilspitze ►), während diejenigen Fasern, die vom Cortex über die supraspinalen motorischen Zentren zum Rückenmark führen, intakt bleiben – dann passiert erstaunlich wenig.

Bei Affen hat man das ausprobiert, und die bekommen nach einer solchen Operation lediglich Probleme mit der Feinmotorik der Finger und Zehen. Mehr nicht. Damit reduziert sich das, was der faule Marionettenspieler tatsächlich ganz allein erledigen muss, auf einen Aspekt: die Fingerfertigkeit. ◀



**HELMUT WICHT** ist promovierter Biologe und Privatdozent für Anatomie an der Dr. Senckenbergischen Anatomie der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main.

### Literaturtip

**Kahl, W., Frotscher, M.:** Taschenatlas der Anatomie, Bd. 3: Nervensystem und Sinnesorgane. Stuttgart: Thieme 2005 (9. Aufl.).

## PRÄMIERTES WISSEN

Gewinnen Sie einen neuen Leser für ein Jahresabonnement von **Gehirn & Geist** – und wählen Sie eine Dankesprämie!

Bestseller  
»Lernen«  
von Manfred  
Spitzer



Einkaufskorb von  
Reisenthel (ohne Inhalt)



Universalgutschein **BestChoice**  
im Wert von € 30,- (kein Umtausch  
in Bargeld)

**Eine Bestellmöglichkeit und weitere Informationen finden Sie unter:**

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH • Leserservice • Sle-vogtstr. 3–5 • 69126 Heidelberg • Tel.: 06221 9126-743 • Fax: 06221 9126-751  
E-Mail: [service@spektrum.com](mailto:service@spektrum.com)

[www.gehirn-und-geist.de/abo](http://www.gehirn-und-geist.de/abo)